

宽脉冲时域反射网络线缆测试方法研究

刘科, 田书林, 肖寅东, 王厚军

(电子科技大学自动化工程学院 成都 610054)

【摘要】针对窄脉冲时域反射法存在的“测试盲区”问题, 结合网络传输信号无地差分的特性, 提出了一种采用宽脉冲差分探测信号的线缆测试方法。该方法可以测试网络线缆的长度, 判断故障的类别, 并很好地解决了“测试盲区”问题。该文在介绍该方法的基础上, 提出了使用该方法设计的网络线缆测试仪的硬件结构, 并对其中的脉冲产生与回波处理模块进行了详细的分析。最后, 给出了使用该测试仪进行网络线缆测试的实验结果, 并对结果进行了分析。结果表明, 该方法稳定可靠, 具有实用价值。

关键词 测试盲区; 网络线缆; 脉冲反射; 时域反射

中图分类号 TP2

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.06.017

Network Cable Fault Location Based on the Wide Pulse Time-Domain Reflection

LIU Ke, TIAN Shu-lin, XIAO Yin-dong, and WANG Hou-jun

(School of Automation Engineering, University of Electronic and Science Technology of China Chengdu 610054)

Abstract Time domain reflection is a method for detecting cable's fault positions and reasons by analyzing the relationship between the transmitted pulse and the reflected pulse. Aimed at the blind spot in the domain reflection with narrow transmitted pulse, a method using wide differential transmitted pulse is proposed. The cable length and the fault reasons can be located by the method and the blind spot can be eliminated. The hardware structure of network cable tester designed by the method is presented and the key parts pulse generator and reflected pulse analyzer are analyzed in detail. At the end, the experiment data obtained by network cable tester are analyzed, the results show that the method is reliable.

Key words blind spot; network cable; pulse reflection; time domain reflection

时域反射法(time domain reflection)是一种采用“脉冲反射”原理进行测试的方法。其测试速度快、分辨率高, 不会对传输线造成损伤, 且只需在线缆的一头进行操作, 受地理条件的影响小, 被广泛应用于线缆故障、长度及特征阻抗的测试中^[1-3]。

1 时域反射测量原理及局限

根据传输线理论, 在线缆的一端发送探测脉冲, 当线缆正常且终端负载阻抗等于线缆的特征阻抗时, 发射脉冲被负载吸收, 不产生反射回波; 如果线缆有故障(短路或断路), 故障点的阻抗不再是线缆的特征阻抗, 从而产生反射回波。其反射系数 ρ 定义为反射波幅度 $U_{\text{反射}}$ 与入射波幅度 $U_{\text{入射}}$ 的比值:

$$\rho = U_{\text{反射}} / U_{\text{入射}} = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0) \quad (1)$$

式中 Z_L 为线缆的负载阻抗; Z_0 为线缆的特征阻抗。由式(1)可以看出: (1) 线缆正常时, 负载阻抗

与特征阻抗相匹配, $Z_L = Z_0$, 则反射系数 $\rho = 0$, 探测脉冲将被负载吸收而无反射回波产生。(2) 线缆发生开路故障时, $Z_L = \infty$, 反射系数 $\rho = 1$, 反射回波幅值等于入射脉冲幅值, 且极性相同。(3) 线缆发生短路故障时, $Z_L = 0$, 反射系数 $\rho = -1$, 反射回波幅值等于入射脉冲幅值, 且极性相反。

当线缆发生开路或短路故障时, 在发送端测得的发射脉冲与反射脉冲的时间间隔 Δt 将与测试点与故障点的距离 S 成正比, 设电信号在待测线缆中的传输速度为 V , 则有 $S = V \cdot \Delta t / 2$ 。通过测量发射脉冲与反射脉冲的时间间隔, 可实现对线缆的故障点进行定位, 结合发送脉冲与反射脉冲的极性, 更可以判断故障产生的原因^[4-5]。

虽然脉冲时域反射法操作简单, 但其存在着“测量盲区”, 即由于待测线缆太短, 导致探测脉冲尚没有完全发出时就已接收到反射脉冲。由于脉冲宽度

窄,产生的失真较大,无法区分发射信号的边沿和反射信号的边沿,从而无法精确地测量出时间间隔。为了尽量减小测试盲区,常采用足够窄的脉冲信号结合高速开关电路、高速采样电路来测试发射脉冲和反射回波之间的时间差,该方法电路复杂,所需要的功耗较大。从另一方面看,探测脉冲的宽度越窄,频带也就越宽。然而,网络线缆直径较细,其频带也限制了探测脉冲的宽度。因此,一味减小发射脉冲的宽度,并不是消除“测量盲区”的一个好的解决方法^[6-7]。

2 宽脉冲时域反射测量原理

本文根据时域反射的原理,提出了使用宽脉冲作为探测信号的宽脉冲时域反射测试法。宽脉冲测试法就是在测试端发出较宽的探测脉冲,当探测脉冲遇到线缆上的断点后会发生反射,反射脉冲沿着网络线缆传回到发送端,发射信号和反射信号相互叠加,通过测量叠加部分的时间宽度来计算发射信号和反射信号间的时间间隔。可见,线缆长度的分辨率取决于时间测量的分辨率,因此,宽脉冲反射测试法可以很好的解决“测量盲区”问题。且时间间隔的测量可以采用计数器来实现,避免了高速开关、采样以及大容量缓冲等复杂高功耗电路,非常适合在手持式或便携式设备中使用。

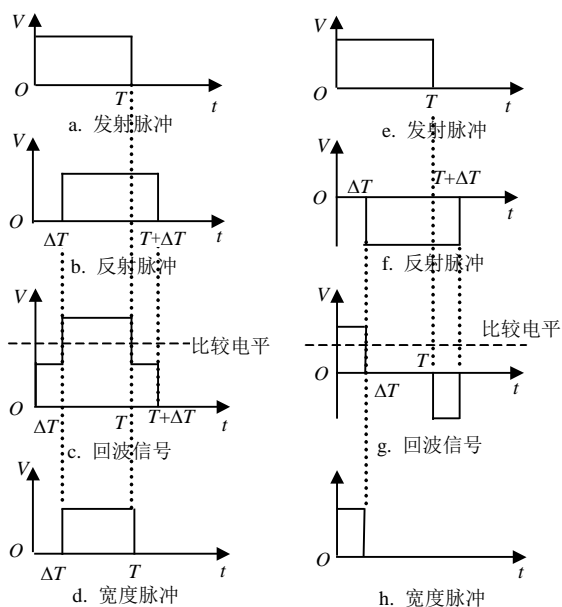


图1 宽脉冲时域反射原理

(1) 当发生断路故障时,反射脉冲信号如图1b所示,将比图1a所示的发射脉冲滞后 ΔT 时刻,且极性相同。发射脉冲和反射脉冲叠加后形成的回波信号如图1c所示。通过比较器,可产生包含线缆长度

信息的宽度脉冲信号,如图1d所示。假设探测脉冲宽度为 T ,线缆故障点与测试点之间的距离为 S ,电信号在待测线缆中的传输速度为 V ,则比较器输出的脉冲信号的宽度为 $T-\Delta T$,且具有如下关系:

$$S = \Delta T \cdot V / 2 = (T - (T - \Delta T)) \cdot V / 2 \quad (2)$$

(2) 当发生短路故障时,反射脉冲信号如图1f所示,将比图1e所示的发射脉冲滞后 ΔT 时刻,且极性相反。发射脉冲和反射脉冲叠加后形成的回波信号如图1g所示。通过比较器,可产生包含线缆长度信息的宽度脉冲信号,如图1h所示。短路线缆的长度可由如下关系式计算得到:

$$S = \Delta T \cdot V / 2 \quad (3)$$

3 电路实现方案

当前网络线缆常采用5类或超5类线,它由4对双绞线组成。每对双绞线由两根具有绝缘保护层的铜导线组成,将其按一定密度互相绞在一起,可以降低信号对外界的辐射,每一根导线在传输中辐射的电波会和另一根线上辐射的电波相抵消。本文利用网络传输信号为无地差分信号的特点,将探测脉冲选取为差分宽脉冲,可有效的消除共模干扰,减小脉冲发射的功率,增加线缆的测试距离。

总体硬件框图如图2所示,主要由可编程差分探测脉冲形成模块、探测脉冲发射模块、回波接收与处理模块、CPU模块4大部分组成。可编程差分探测脉冲形成模块完成高精度差分探测脉冲信号的形成。探测脉冲发射模块负责增强差分探测脉冲的驱动能力,并有效地降低探测脉冲的过冲和振铃,使脉冲信号的波形变得更平稳。反射的回波信号送到回波接收与处理模块,完成包含线缆长度信息的宽度脉冲提取。CPU模块由一片高性能的DSP处理器组成,它主要负责差分脉冲宽度的设定、通道选择、线缆故障判定以及线缆测试结果的计算显示等^[8-10]。

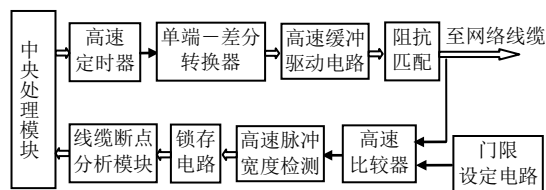


图2 线缆测试硬件方案

3.1 脉冲产生与发送

可编程差分探测脉冲形成模块主要由定时器、单端一差分转换器,高速缓冲驱动电路并辅以相应的逻辑控制电路组成,定时器通过对高速时钟进行计数,产生一定宽度的脉冲信号。为了方便区分线

缆发生短路还是断路故障, 脉冲宽度的选择依据如下: 假定线缆的最大测试长度为 S_{max} , 则探测脉冲宽度 T 应满足 $T > 4S_{max} / V$, 此时, 如图1d、图1h所示, 可根据经过测试得到的脉冲宽度来判断线缆的故障类型。

(1) 如果发生的是断路故障, 则测试所得的脉冲宽度 T_p 应满足 $T > T_p > T/2$ 。(2) 如果发生的是短路故障, 则测试所得的脉冲宽度 T_p 应满足 $0 < T_p < T/2$ 。

设所测试的网络线缆长度最大为300 m, 根据电信号在线缆中的传输速度为200 m/ μ s, 因此选择的脉冲宽度应大于8 μ s, 本文设计实际选择的脉冲宽度为10 μ s。当测得的脉冲宽度小于5 μ s 时, 产生的是短路故障; 当测试的脉冲宽度大于5 μ s 时, 产生的是断路故障。单端-差分转换器选用AD8138, 实现单端脉冲到差分脉冲的转换, 转换后的差分脉冲经过由高速缓冲驱动电路、阻抗匹配电路组成的探测脉冲发射模块, 完成探测脉冲信号的发送。

3.2 回波接收与处理

回波接收与处理模块包括高速比较器、门限设定电路、高速脉冲宽度检测电路、锁存电路以及线缆断点分析模块组成。待测线缆的回波信号经过衰减电路送入高速比较器的同相输入端, CPU模块控制门限设定电路产生高速比较器的反相输入电平, 经比较后产生反映线缆长度信息的门控脉冲。高速脉冲宽度检测电路对该门控脉冲的宽度信息进行检测, 测试结果由锁存电路锁存后供CPU模块读取。线缆断点分析模块在CPU模块内部实现, 根据高速脉冲宽度检测电路测试的结果判定线缆的断点位置以及发生断点故障的原因。

4 实验与数据分析

在实验中, 利用差分宽脉冲时域反射法分别对长度为1.41 m、4.86 m与262.6 m的断路双绞线进行测试, 同时使用TDS3052示波器在差分脉冲的发射端进行观察, 回波波形图如图3a~图3c所示, 利用示波器可观察发射脉冲与反射脉冲的时间间隔分别为14 ns、48 ns与2.7 s。由公式 $S = \Delta T \cdot V / 2$ (本文实验所用双绞线, 电信号在其中的传播速度为200 m/s), 计算测得的长度分别为1.4 m、4.8 m与270 m。使用依据本文方法设计的网络线缆故障测试仪分别对短路和断路两种故障的多种长度线缆进行了测试, 实际长度、测试结果与误差数据如表1所示。可见使用宽脉冲时域反射法进行线缆的断路和短路测试, 测试精度高、结果准确, 能很好解决窄脉冲线缆测试

中的测试盲区问题。

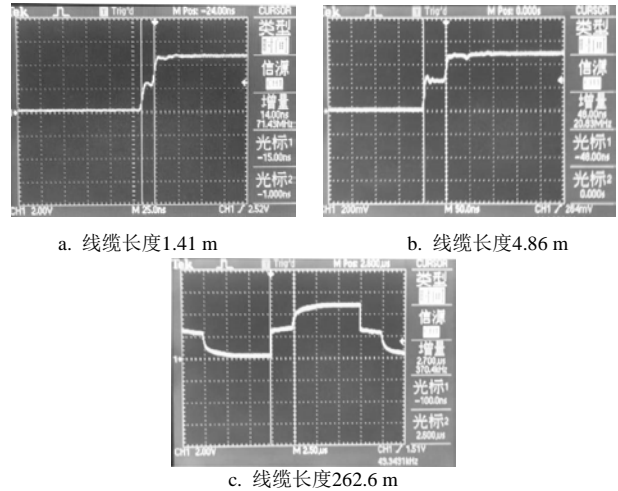


图3 不同长度线缆测试回波波形

表1 网络线缆故障测试仪测试结果

故障类型	实际长度/m	测试长度/m	误差/(%)
断路	1	1.01	1.0
	5	5.08	1.6
	10	10.12	1.2
	267	273.90	2.5
短路	1	1.02	2.0
	5	5.11	2.2
	10	10.26	2.6
	267	276.00	3.2

5 结 论

通过对传统脉冲时域反射法测试原理以及局限性的研究, 本文提出了一种基于差分宽脉冲的时域反射方法, 该方法能很好的解决网络线缆断路、短路及故障位置的测试, 且由于避免了窄脉冲信号产生、高速采样及大容量缓存等电路单元的使用, 使用本方法设计的网络线缆故障测试设备结构简单、功耗低、测试精度高、结果准确, 具有很高的实用价值。

参 考 文 献

[1] ANDERSON W E, RAMBOZ J D, ONDREJKA A R. The detection of incipient faults in transmission cables using time domain reflectometry techniques[J]. Technical challenges, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1982, 101(7): 1928-1934.

[2] 王 征. 小波分析检测线缆故障的应用研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(5): 155-157.
WANG Zheng. Research of cable fault detection with wavelet transform[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(5): 155-157.

[3] 周学军, 赵四新, 董秀春. 线缆绝缘故障定位技术的探析[J]. 电线电缆, 2002, 2: 27-31.
ZHOU Xue-jun, ZHAO Si-xin, DONG XIU-chun. Fault location techniques for cable insulation[J]. Electric Wire & Cable, 2002, 2: 27-31.

- [4] STEINER J P, WEEKS W L, NG H W. An automated fault locating system[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(2): 967-978.
- [5] NAVANEETHAN S, SORAGHAN J J, SIEW W H, et al. Automatic fault location for underground low voltage distribution networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(2): 346-351.
- [6] 高 辉. TDR中的高速A/D变换系统[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(s2): 189-201.
GAO Hui. The system of high-speed A/D conversion in TDR[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001, 22(s2): 189-201.
- [7] 高 辉. 时域反射仪设计中若干问题的解决方案[J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9(4): 61-62.
GAO Hui. Solution scheme on some problems in TDR design[J]. Computer Measurement & Control, 2001, 9(4): 61-62.
- [8] 张 舒, 师奕兵, 刘 科. 时域反射测量技术在网络故障检测中的应用[J]. 中国测试技术, 2005, 31(5): 40-41.
ZHANG Shu, SHI Yi-bing, LIU Ke. Application of the time domain reflection measurement in the network feature testing[J]. China Measurement & Testing Technology, 2005, 31(5): 40-41.
- [9] 何致远, 周克宁. 脉冲回波法通信电缆断点测试系统[J]. 电测与仪表, 2000, 37(415): 31-33.
HE Zhi-yuan, ZHOU Ke-ning. A test system for measuring communication-cable cut-point based on pulse reflecting wave[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2000, 37(415): 31-33.
- [10] 罗晓春, 洪 贝, 孙继银. 基于单片机开发的多芯线缆测试仪[J]. 控制工程, 2007, 14: 88-90.
LUO Xiao-chun, HONG Bei, SUN Ji-yin. Multi-wire cable fault detector based on SCM[J]. Control Engineering of China, 2007, 14: 88-90.

编辑 漆 蓉

(上接第912页)

仿真实验中, 参考通道 SNR 为 20 dB, 当该参数下降时, 分段相关后的信噪比将会下降, 信噪比损失将会增大。在实际的非合作双基地雷达系统中, 参考通道接收的是直接来自辐射源的直达波脉冲, 因此参考通道 SNR 的一般取值大于 0 dB, 而且当参考通道 SNR 较高(大于 20 dB)时, 参考通道 SNR 的变化对分段相关输出信噪比的影响不明显, 此时, 分段相关输出信噪比主要取决于目标通道信噪比。因此, 仿真环境中选择参考通道 SNR 为 20 dB 是合理的。

4 结 论

本文首先讨论了脉冲制非合作双基地雷达固定目标的互相关检测与时延估计原理, 然后针对运动目标多普勒频移对互相关检测造成的失配损失很大而无法使用的问题, 提出了一种“分段相关-视频积累”快速时延估计算法, 并对线性调频脉冲串信号在互相关、分段相关-视频积累两种方法下的处理性能进行了理论和仿真分析比较。实验表明该方法在目标多普勒频移不太大且分段相关后的信噪比较高的情况下, 信号处理损失较小, 可忽略不计。采用该方法在不影响处理性能的同时减小了算法实现的难度, 便于工程实现。

参 考 文 献

- [1] 唐小明, 何 友, 夏明革. 基于机会发射的无源雷达系统发展评述[J]. 现代雷达, 2002, 24(2): 1-6.
TANG Xiao-ming, HE You, XIA Ming-ge. An overview of

- development of passive radar system based on transmitters of opportunity[J]. Modern Radar, 2002, 24(2): 1-6.
- [2] HAWKINS J M. An opportunistic bistatic radar[C]//IEE Radar Conference. [S.l.]: [s.n.], 1997: 318-322.
- [3] 耿富录, 王建军, 王云山, 等. 独立双基地雷达接收系统[J]. 西安电子科技大学学报, 1991, 18(4): 38-44.
GENG Fu-lu, WANG Jian-jun, WANG Yun-shan, et al. An independent bistatic radar receiver system[J]. Journal of Xidian University, 1991, 18(4): 38-44.
- [4] THOMAS D D. Synchronization of noncooperative bistatic radar receivers[D]. Syracuse: Syracuse University, 1999.
- [5] THOMPSON E C. Bistatic radar noncooperative illumination synchronization techniques[C]//IEEE Radar Conference. [S.l.]: IEEE, 1989: 29-34.
- [6] JOHNSEN T, OLSEN K E. Hitchhiking bistatic radar: principles, processing and experimental findings[C]//IEEE Radar Conference. [S.l.]: IEEE, 2007: 518-523.
- [7] 易 岷. 时延及相关参数估计技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
YI Min. Research on estimation of time delay and related parameters[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2004.
- [8] 闵 锐, 姚 刚, 周 非, 等. 双站 SAR 系统的信号分析[J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(6): 905-908.
MIN Rui, YAO Gang, ZHOU Fei, et al. Signal analysis of bi-static SAR systems[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(6): 905-908.
- [9] BARTON D K. Modern radar system analysis[M]. Norwood, MA: Artech House, Inc, 1988.
- [10] RETZER G. A passive detection system for a wide class of illuminator signals[C]//IEEE Radar Conference. [S.l.]: IEEE, 1979.

编辑 税 红